

# Исследование рабочих характеристик ионного источника с анодным слоем

Березин Сергей Андреевич

Новосибирский государственный университет

Золкин Александр Степанович, к.ф.-м.н.

[sergeyberezin123@gmail.com](mailto:sergeyberezin123@gmail.com)

**Введение.** Актуальность данного исследования обуславливается всё растущими потребностями в применении свободных плёнок металлов, получение которых с помощью вакуумных ионно-плазменных методов является одним из наиболее эффективных методов [1]. Так, например, свободные плёнки титана, получаемые таким способом, используются в сферах исследования элементарных частиц и в астрономии [2]. Так же широкое применение ионное напыление находит в решении вопроса межслойной изоляции в интегральных схемах, в производстве электроприборов и микросхем в целом.

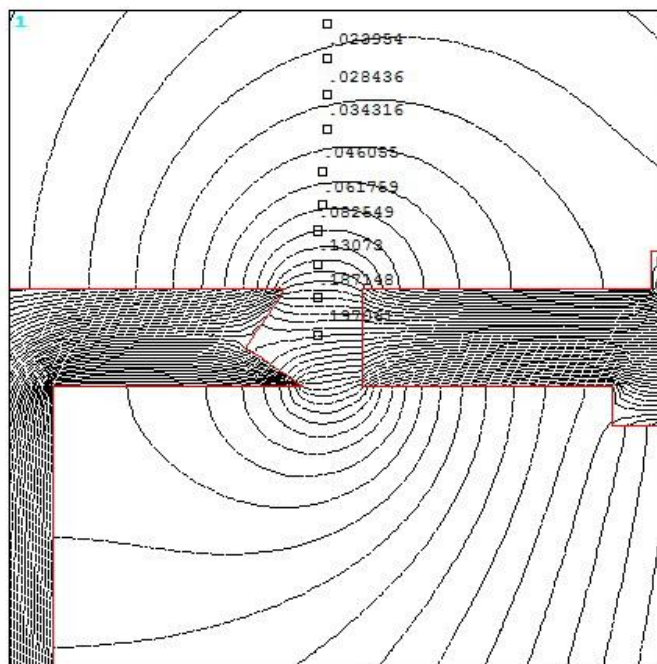


рис.1. Распределение магнитных линий в ускорителе при токе катушки 3 А. Видно сгущение магнитных линий в щели источника. Значения напряжённости магнитного поля приведены в Теслах. Изображены только магнитные части.

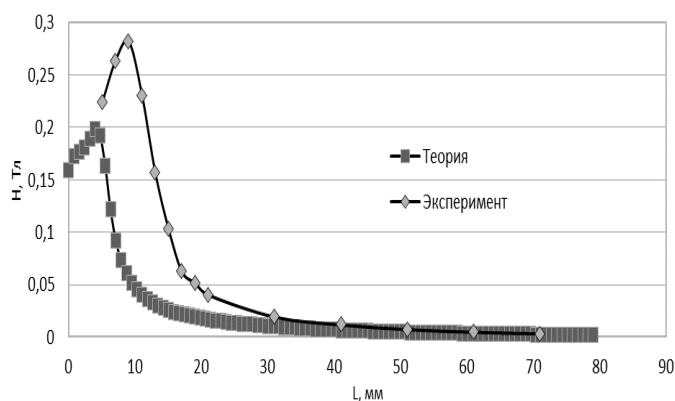


рис.2. Сравнение экспериментальной и теоретической зависимости индукции магнитного поля от расстояния от анода при токе катушки 2.5 А.

рамках данной работы не выяснялись.

**Результаты.** В рамках проведённого исследования построена теоретическая модель магнитного поля источника типа «Радикал» с помощью программы ANSYS Fluent 18.0. Наблюдаемая в районе щели конфигурация поля, по нашему мнению, служит для улавливания электронов (Рис.1).

Для получения достоверной картины магнитных полей были проведены так же и непосредственные измерения индуктивности магнитного поля источника на разном удалении от щели при разном токе катушки с помощью прибора Ш1-8. Полученные данные соответствуют теоретическим предсказаниям, хоть полученный график и оказался несколько смещен относительно смоделированной картины (рис. 2).

Для измерения рабочих характеристик ускорителя и снятия зависимости тока разряда от давления в вакуумной камере было зафиксировано напряжение катушки на 4 kV, а далее для каждого шага давления производилось по пять измерений при различном токе катушки. В качестве рабочего газа использовался аргон.

**Обсуждение.** Как видно, полученное экспериментально распределение магнитного поля несколько не совпадают с построенной моделью. Возможной причиной данных расхождений является неточность построения модели (измерения размеров ионного источника и построение чертежей производилось вручную), что может являться причиной смещения пика на величину около 5мм, и неидеальность реальных компонент ионного источника. Также, вероятно, на экспериментальные данные было оказано влияние остаточной намагниченности источника и внешних полей, что может объяснить большую амплитуду.

Был отмечен любопытный факт того, что при давлении 0,003 - 0,0015 торр и токе катушки больше 0,5 ампер наблюдалось смещение спектра излучения: видимое свечение из фиолетового становилось голубым. Причины этого явления в

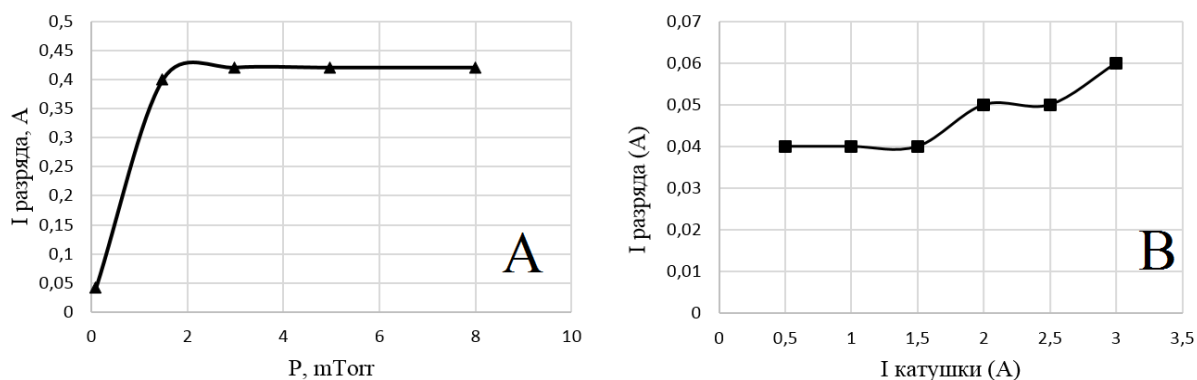


рис.3. Характеристики УАС. А - зависимость тока разряда от давления в камере при токе катушки 0.5 А; В - зависимость тока разряда от тока катушки при давлении 0.0001 Торр

**Выводы.** По полученным результатам измерений (рис.3) область рабочих характеристик ускорителя лежит в низких давлениях, менее 0,0001 торр при токе катушки от 0,5 до 3 ампер. В области более высоких давлений при токе катушки от 1 до 3 ампер наблюдается дуговой разряд, при котором стабильный процесс напыления невозможен. Однако, при токе в 0,5 ампера, даже при повышении давления до 0,008 торр, дуговой разряд не наблюдался и процесс напыления проходит стабильно.

Автор благодарит Борисова А.А. (НГУ) за помощь в построении компьютерной модели и обсуждении результатов. Работа выполнена в рамках Проекта САЕ-НГУ: «Нелинейная фотоника и квантовые технологии».

Список публикаций:

- [1] Соловьёв А.А. // Устройства со скрещенными электрическим и магнитным полями для нанесения тонкоплёночных покрытий на подложки большой площади - 2007. С.5.
- [2] Цыбин Н.Н. // Многослойные абсорбционные фильтры для астрономии и проекционной литографии экстремального ультрафиолетового диапазона» Нижний Новгород – 2015. С.7.

## Возбуждение турбулентности в плазме вакуумного разряда

**Волжанинов Денис Александрович**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

Музюкин Илья Львович, к.ф.-м.н.

[VolzhaninovDenis@yandex.ru](mailto:VolzhaninovDenis@yandex.ru)

Четвертое состояние вещества, плазма, отличается от горячего газа наличием коллективных эффектов. По сравнению с двухчастичными взаимодействиями, характерными для горячего газа, коллективные эффекты в плазме имеют гораздо большее влияние на поведение самого вещества. Одним из примеров коллективного взаимодействия является турбулентность плазмы. Данный эффект заключается в возникновении коллективных колебаний сортов частиц плазмы при поглощении энергии направленного в плазму электронного пучка или электромагнитной волны. Рассматриваемый эффект турбулентности плазмы возможно использовать для её нагрева. Этот метод был предложен Е. К. Завойским [1]. Важно отметить, что турбулентный нагрев электронов и ионов является бесстолкновительным процессом.

При горении вакуумной дуги были детектированы потоки электронов с энергиями, превышающими падение напряжения горения дуги [2]. В экспериментах наблюдались пучки с энергиями 50 эВ, когда расчетное значение энергии пучка составляло 2-5 эВ. Такое превышение не может быть объяснено тепловым энергетическим распределением. Необходимо отметить, что в ряде измерений высокоэнергетические пучки могут отсутствовать. В результате эксперимента была выявлена основная особенность высокоэнергетического пучка – соответствие пиков электронного потока неустойчивостям тока дуги. По мнению автора, данный феномен может быть объяснен возбуждением турбулентности в плазме. Как было описано выше, возможен турбулентный нагрев электронов, который объясняет наличие пучков с энергиями гораздо выше падения напряжения дуги. В свою очередь, наличие неустойчивости в плазме, чем и является турбулентность, приводит к уменьшению её проводимости, что в свою очередь приведет к неустойчивостям тока дуги.

Была поставлена задача, изучить турбулентность в плазме путём искусственного её возбуждения. Достичь выполнения поставленной задачи, было решено путем создания следующей установки (рис.1).